

## KOREAN PATENT ABSTRACTS

(11)Publication number: **1020010016729 A**

(43)Date of publication of application:  
**05.03.2001**

(21)Application number: **1019990031782**

(71)Applicant: **KOREA ADVANCED  
INSTITUTE OF  
SCIENCE AND  
TECHNOLOGY**

(22)Date of filing: **03.08.1999**

(72)Inventor: **HONG, CHANG SEON  
KIM, CHEON GON  
PARK, JUNG WAN  
RYU, CHI YEONG**

(51)Int. Cl **G01B 11 /16**

### (54) **SYSTEM FOR DETECTING DEFORMATION OF OPTICAL FIBER STRUCTURE**

#### (57) Abstract:

PURPOSE: A deformation detection system for an optical fiber structure is provided to detect an abnormal state of a structure in real time without an error by adding a fabry-perot etalon to a general system and correcting a non-linearity through determination of coordinates at a wavelength region with a reflected output optical signal. CONSTITUTION: A deformation detection system comprises: a reference FBG(fiber bragg grating) sensor(22) installed in a non-deformed state; an FBG sensor array(21) consisting of at least one of FBG sensors installed in a structure and detecting the deformation of the structure and branched with the reference FBG sensor by a coupler; a strain measuring coordinates signal output unit branched with an FBG sensor group by a coupler and outputting an optical signal of a specific wavelength; and an optical detector(29) detecting the signal of the strain measuring coordinates signal output unit. Herein, a fabry-perot etalon(23) outputting an equally split optical signal is included. The output signal of the fabry-perot etalon is used as coordinates of the center wavelengths of respective sensors of the FBG sensor array by centering on the center wavelength of the reference FBG sensor. On the basis of the positions of the non-deformed early sensors, the displacement of the center wavelengths of the deformed respective sensors is calculated. Therefore, an actual strain is output accurately regardless of the non-linearity of the modulated voltage applied to a fabry-perot filter(12) in a WSFL(wavelength swept fiber laser).

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(51) Int. Cl. <sup>6</sup>  
G01B 11/16(11) 공개번호 특2001-0016729  
(43) 공개일자 2001년03월05일(21) 출원번호 10-1999-0031782  
(22) 출원일자 1999년08월03일(71) 출원인 한국과학기술원 윤덕용  
대전 유성구 구성동 373-1  
(72) 발명자 홍창선  
서울특별시성북구돈암동616-10한신아파트104동1403호  
김천근  
대전광역시유성구전민동엑스포아파트307동1108호  
류치영  
대전광역시유성구전민동세종아파트111-1006호  
박중완  
대전광역시유성구신성동126-2302호  
(74) 대리인 임평섭

심사청구 : 있음

## (54) 광섬유 구조물 변형 감지시스템

## 요약

본 발명은, 교량이나 건물, 원자력 발전소등과 같은 구조물의 안전상태 및 파손 여부를 감지하기 위한 감지시스템에 관한 것으로, 파장이동 광섬유 레이저를 광원으로, 광섬유 브래그 격자센서를 광섬유 센서로 사용하는 광섬유 구조물 변형감지시스템에 있어서, 변형을 받지 않는 상태로 설치되는 기준 광섬유 브래그 격자센서와; 구조물에 설치되어 구조물의 변형을 검지하는 적어도 하나 이상의 광섬유 브래그 격자센서로 구성되며, 상기 기준 광섬유 브래그 격자센서와 커플러에 의해 분기되어 있는 광섬유 브래그 격자센서 어레이와; 상기 기준 광섬유 브래그 격자센서와 상기 광섬유 브래그 격자센서 어레이로 구성되는 광섬유 브래그 센서군과 커플러에 의해 분기되어 있으며, 일정 파장의 광신호를 출력하는 변형을 측정 좌표신호출력수단과; 상기 광섬유 브래그센서군과 상기 변형을 측정 좌표신호 출력수단의 출력신호를 검출하는 광 검지기;를 구비하여, 구조물의 운용중에 그 변형상태를 실시간으로 정확하게 감지할 수 있도록 한 광섬유 구조물 변형 감지시스템에 관한 것이다.

## 대표도

도1

## 명세서

## 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 광섬유 구조물 변형 감지시스템의 블록도.

도 2는 패브리-페로 에탈론의 개략적인 구성도.

도 3은 파장이동 광섬유 레이저의 출력신호를 나타내는 그래프.

도 4는 기준 브래그 격자센서 및 브래그 격자 센서어레이의 출력신호를 나타내는 그래프.

도 5는 패브리-페로 에탈론의 출력신호를 나타내는 그래프.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

- 10 ; 파장이동 광섬유 레이저12 ; 패브리-페로 필터
- 21 ; FBG센서 어레이22 ; 기준 FBG센서
- 23 ; 패브리-페로 에탈론29 ; 광 검출기

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야 종래기술

본 발명은, 교량이나 건물, 원자력 발전소등과 같은 구조물의 안전상태 및 파손 여부를 감지하기 위한 감지시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 파장 이동 광섬유 레이저를 광원으로, 광섬유 브래그 격자 센서를 광섬유 센서로 이용하여, 구조물의 운용중에 그 변형상태를 실시간으로 정확하게 감지할 수 있도록 한 광섬유 구조물 변형 감지시스템에 관한 것이다.

최근들어, 스마트 구조물이라 하여 기존의 검사방법과는 달리 구조물의 운용중에 그 안전상태 및 파손 여부를 실시간으로 감지할 수 있도록 하는 안전진단기술이 개발되어, 교량이나 원자력 발전소와 같이 파손시 막대한 피해가 발생하는 구조물의 파손을 미연에 방지하고 구조물의 유지 및 보수에 따른 비용절감에 기여하고 있다.

스마트 구조물은, 외부환경의 변화를 감지하는 감지계, 감지된 정보를 처리하는 두뇌계, 감지된 외부환경의 변화에 능동적으로 대응하는 작동계로 구성되는데, 두뇌계는 신호처리 및 구조물 특성 데이터 베이스를 내장하고 있는 마이크로 프로세서로 구성되며, 작동계는 압전 세라믹, 가제어성 유체인 ER유체 또는 MR유체나 형상기억합금이 사용된다.

한편, 감지계로는 반도체 센서, 금속 박막 센서, 압전 센서, 광섬유 센서등이 사용되는데, 광섬유 센서를 사용하여 감지계를 구성하는 경우, 전자기파의 영향을 받지 않으며, 작동 온도범위가 매우 넓고, 광섬유의 직경이 매우 미세하고 유연하여 사용자가 원하는 크기의 센서를 쉽게 구성할 수 있으며, 높은 해상도와 다량의 정보를 전송할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있으므로, 그 이용범위가 확대되고 있다.

광섬유 센서는 광섬유의 파단으로 인한 빛의 전달 유무를 이용하는 방법과 빛의 편광을 이용하는 방법 및 마하젠더, 마이켈슨, 패브리-페로 광섬유 센서 등과 같이 간섭을 이용한 방법으로 구성된 센서 등이 있다. 이 중 구조물의 변형 측정에 가장 많이 사용되는 빛의 간섭을 이용한 광섬유 센서는 변형률에 기인한 경로차에 의한 간섭 신호로부터 변형률을 측정한다. 그러나 이와 같은 간섭형 광섬유 센서들은 동시에 여러 지점을 측정하는 멀티플렉싱의 적용에 효율적이지 않고 센서로부터의 출력신호 처리 과정에도 많은 문제점을 내포하고 있었다.

따라서, 최근에는 변형률과 온도 등의 외란을 반사 파장의 변이를 측정함으로써 간단히 측정할 수 있는 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber Bragg Grating Sensor; FBG 센서)가 새롭게 개발되어 사용되고 있다.

FBG 센서는, 광섬유 코어에 굴절율의 변화부분 즉, 브래그 격자를 소정 간격으로 형성시킨 것으로, 격자의 유효굴절율 및 격자간의 간격에 따라 결정되는 파장성분은 광섬유 격자부위에서 반사되며, 나머지 성분은 통과하게 된다. 따라서, 브래그 격자에 변형등의 외란이 가해지면, 반사되는 빛의 파장이 달라지며, 브래그 반사파장의 변화량을 측정함으로써 변형률을 측정할 수 있게 된다. 또한, 브래그 격자의 중심 파장을 다르게 하여 변형을 받을 때에도 서로 중첩되지 않게 구성한다면, 하나의 광섬유선에 다수의 FBG 센서를 배열할 수 있어 동시 다점 측정 기술을 쉽게 구현할 수 있으며, 변형의 인장, 압축이 구별되는 절대량의 측정이 가능하고, 출력 신호가 빛의 파장에만 관계하므로 광강도의 변화에 무관하여 시스템 구성이 용이하다. 또한 출력 신호가 변형에 대하여 선형적이며 센서가 광섬유 자체의 강도를 거의 유지하므로 강도 특성이 우수하다는 장점이 있다.

#### 발명이 이루고자하는 기술적 과제

이와 같은 장점을 갖는 FBG 센서로부터 출력되는 신호를 복조하기 위하여 종래에는 다음과 같은 방법들이 있었다. 즉 FBG 센서 출력 신호를 복조하기 위하여 복조기로 마이켈슨이나 마하젠더 등의 간섭계를 구성하거나 또는 광섬유 패브리-페로 필터 등을 복조기로 사용하였다. 그러나 마이켈슨이나 마하젠더 등의 간섭계로 구성된 복조 시스템은 시스템의 절대 기준이 없어서 항시성이 결여되고, 미세한 경로차를 얻어야 하므로 제작상으로 상당히 어려운 점이 있으며, 가장 큰 단점으로 광섬유 한 라인 상에 여러개의 센서를 배열하는 멀티플렉싱의 기법을 사용하게 되면 상당히 복잡한 신호 처리 과정이 필요하게 된다. 또한 광섬유 패브리-페로 필터 등을 복조기로 사용한 시스템은 멀티플렉싱이 가능하나, 해상도가 필터의 밴드폭에 의해 결정되기 때문에 시스템의 해상도가 떨어지며, 해상도를 높이기 위해서는 밴드폭이 작은 고가의 광섬유 패브리-페로 필터가 필요하므로 비용의 증가가 따른다는 단점이 있었으며, 이를 해결하기 위해, 광원자체가 파장에 대한 정보를 시간 영역으로 상사시켜 출력하므로 별다른 복조 시스템이 필요없는 파장이동 광섬유 레이저(Wavelength Swept Fiber Laser:WSFL)를 광원으로 사용한 시스템이 개발되어 사용되고 있다. 이 시스템은 빛의 출력광이 높고 해상도가 높은 장점을 가진다. 그러나 이러한 시스템은 내재적으로 발생할 수 있는 광섬유 패브리-페로 필터의 비선형성으로 인해 시스템의 비선형성이 나타날 수 있으며, 구조물의 변형 측정 시 오차가 발생한다는 문제점이 있었다.

본 발명은, 파장이동 광섬유 레이저를 광원으로 사용한 FBG 센서 시스템의 비선형성으로 인해 구조물의 변형 측정 시 발생할 수 있는 제반 문제점을 해결하기 위한 것으로, 기존의 시스템에 패브리-페로 에탈론을 추가하여 반사된 출력 광 신호로 파장 영역에서

좌표를 설정하여 비선형성을 보정함으로써, 구조물의 이상상태를 실시간으로 오차없이 감지할 수 있도록 하는 데 그 목적이 있다.

### 발명의 구성 및 작용

상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 광섬유 구조물 변형 감지시스템은, 파장이동 광섬유 레이저를 광원으로, 광섬유 브레그 격자센서를 광섬유 센서로 사용하는 광섬유 구조물 변형감지시스템에 있어서, 변형을 받지 않는 상태로 설치되는 기준 광섬유 브레그 격자센서와; 구조물에 설치되어 구조물의 변형을 감지하는 적어도 하나 이상의 광섬유 브레그 격자센서로 구성되며, 상기 기준 광섬유 브레그 격자센서와 커플러에 의해 분기되어 있는 광섬유 브레그 격자센서 어레이와; 상기 기준 광섬유 브레그 격자센서와 상기 광섬유 브레그 격자센서 어레이로 구성되는 광섬유 브레그 센서군과 커플러에 의해 분기되어 있으며, 일정파장의 광신호를 출력하는 변형을 측정 좌표신호 출력수단과; 상기 광섬유 브레그센서군과 상기 변형을 측정 좌표신호 출력수단의 출력신호를 검출하는 광 검지기;를 구비하는 것을 특징으로 한다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성 및 작용을 상세히 설명하면 다음과 같다.

도 1은 본 발명에 따른 구조물 변형 감지시스템의 블록도를 나타내는 바, 크게 보아 광원으로는 사용되는 파장 이동 광섬유 레이저(10)와 센서측(20)으로 구분된다.

파장 이동 광섬유 레이저(10)는, 잘 알려져 있는 바와 같이, 출력 파장을 이동시키기 위해 고리형 공진기(11) 내에 피브리-페로 필터(12)를 사용한 것으로, 흐름이 일정한 한방향으로만 진행되도록 일방향 고리형으로 구성되어 있으며, 광대역 소스를 얻기 위해 빛을 증폭하는 이득 매질로서 어븀 첨가 광섬유(EDF; 13)가 사용되고, 이득 매질을 여기시키는 펌프원으로 펌프 레이저(14)가 사용된다.

스캐닝 필터로는 패브리-페로 필터(12)가 사용되며, 정해진 파장 영역대를 이동하면서 레이저 출력을 얻기 위해 패브리-페로 필터에 삼각파의 형태로 변조 전압 신호가 인가되고, 공진기 내에서 반사 등에 의해 빛이 반대 방향으로 흐르지 않도록 패브리-페로 필터(12) 앞뒤로 아이솔레이터(15)가 부착되며, 하나의 편광축을 제거하기 위하여 편광자(16)가 설치되고, 편광자 앞 뒤로는 편광축을 조절하기 위하여 편광 조절기(17)가 부착된다.

한편, 센서측(20)은, 실제 구조물에 삽입되거나 부착되어 변형률을 측정하는 데 사용되는 FBG 센서 어레이(21)와, 변형을 받지 않는 상태로 설치되어 파장에 대한 정보를 참조할 수 있는 기준이 되는 기준 FBG 센서(22)와, 유리 모세관과 광섬유를 이용하여 미세하게 간극을 조절하여 일정파장의 광신호를 출력하는 패브리-페로 에탈론(23)으로 구성된다.

패브리-페로 에탈론(23)이란, 도 2에 도시되어 있는 바와 같이, 유리모 세 관 (24) 내에 광섬유(25)가 일정 간격을 두고 배치되어 있는 것으로, 광섬유(25)의 단면이 거울 역할을 하여 두 단면간의 간극에서 빛이 계속적인 반사를 일으키는 다중간섭에 의해 일정 파장의 빛을 출력하게 된다. 패브리-페로 에탈론(23)의 이러한 출력신호는, 후술하는 바와 같이, FGB 센서의 변이를 측정함에 있어서 파장영역에서의 잣대로 사용된다.

구조물의 변형을 감지하는 FBG 센서 어레이(21)와 기준 FGB 센서(22)는 커플러(27)를 이용하여 분기되어 있으며, 상기 FBG 센서군과 패브리-페로 에탈론(23) 역시 커플러(26)으로 분기되어 있다.

FBG 센서 어레이(21)와 기준 FBG 센서(22)로부터 반사되어 돌아오는 빛은 동일 광검출기(29)에 의해 취득되며, 패브리-페로 에탈론(23)으로부터 반사되어 돌아오는 빛은 다른 광검출기(29)에 의해 취득된다. 이와 같이, 서로 다른 광검출기를 사용하는 이유는 FBG 센서로부터 반사된 빛이 패브리-페로 에탈론으로부터 반사된 빛과 중첩되면 잣대로 이용되는 에탈론 신호가 깨지는 현상이 발생하기 때문이다.

미설명부호 18 및 28은 커플러를 나타낸다.

이와 같이 구성되는 광섬유 센서 구조물 변형 감지시스템의 작용을 구체적인 구현례를 통해 살펴보면 다음과 같다.

앞서 서술한 바와 같이, 본 발명에 적용되는 파장이동 광섬유 레이저(10)는, 좁은 파장영역에 모든 광파워가 출력되므로 출력신호의 파워가 매우 높으며, 동시에 높은 해상도를 가지는 장점을 갖는 것으로, 패브리-페로 필터에 130Hz의 삼각파를 변조신호로 인가하고, 빛을 증폭하는 이득매질로서 길이 30m의 어븀첨가광섬유 (13)를 사용하고, 이러한 이득매질을 여기시키는 펌프원으로 980nm의 펌프레이저 (14)를 사용하여, 도3에 도시되어 있는 바와 같이, 중심파장이 1550nm 근처이고 대역폭이 1525~1570nm 인 광신호를 출력하도록 형성하였다.

파장이동 광섬유 레이저(10)로부터 출력되는 광신호는 50:50 커플러(26)를 통해 분기되어 FBG 센서 어레이(21)와 기준 FBG 센서(22) 측으로 빛의 반이 입사되고, 패브리-페로 에탈론(23)측으로 나머지 반이 입사된다.

각각 반씩 입사된 빛은 반사되어 광검출기(29)에 의해 빛의 신호가 전압으로 변환되는 바, 도4는, 중심파장이 1532nm인 FBG센서를 기준 브레그 격자로서 센서어레이를 구성한 경우의 출력신호를 파장영역에 나타난 그래프로, 점선은 구조물의 변형에 따라

각 센서의 중심파장이 변이됨을 나타내며, 센서들이 변형을 받음에 따라 파장영역에서 서로 겹치는 현상이 발생하지 않도록 각 센서들의 중심파장을 변형을 고려하여 적절히 배치하여야 함을 알 수 있다.

한편, 패브리-페로 에탈론(23)은, 광섬유간의 간격을 조절하여, 공간의 파장간격이 1530~1560nm 파장대에서 정확히 1nm로 동일하게 균등분할된 광신호를 출력하게 되며(도5 참조), 패브리-페로 에탈론의 이러한 출력 특성은 FBG센서의 중심파장의 변이를 측정함에 있어서 파장영역에서의 잣대로 사용된다. 즉, 패브리-페로 에탈론의 출력신호는 기준 FBG센서의 중심파장을 기준으로 하여, FBG센서어레이의 각 센서의 중심파장에 대한 좌표로서 사용되며, 이 좌표계에 위치시킨 변형을 받지않은 초기 센서들의 위치를 기준으로, 실제 변형을 받아 변이된 각센서의 중심파장의 위치변화를 계산함으로써, 파장이동 광섬유 레이저 내의 패브리-페로 필터 (12)에 인가되는 변조전압의 비선형성에 영향을 받지 않고, 실제 변형률을 정확히 산출해 낼 수 있게 된다.

### 발명의 효과

이상 설명한 바와 같이 본 발명에 따른 광섬유 구조물 변형감지 시스템에 의하면 패브리-페론 에탈론을 잣대로 사용함으로써 파장이동 광섬유 레이저를 광원으로 사용하는 FBG센서 시스템의 비선형성으로 인해 발생할 수 있는 구조물 변형 측정의 오차를 확실 히 방지할 수 있게 되며, 따라서, 멀티플렉싱 기술의 구현이 용이하고 높은 해상도를 갖는 구조물 변형감지 시스템을 효과적으로 구현할 수 있게 된다.

### (57)청구의 범위

#### 청구항1

파장이동 광섬유 레이저를 광원으로, 광섬유 브레그 격자센서를 광섬유 센서로 사용하는 광섬유 구조물 변형감지시스템에 있어서, 변형을 받지 않는 상태로 설치되는 기준 광섬유 브레그 격자센서와;

구조물에 설치되어 구조물의 변형을 검지하는 적어도 하나 이상의 광섬유 브레그 격자센서로 구성되며, 상기 기준 광섬유 브레그 격자센서와 커플러에 의해 분기되어 있는 광섬유 브레그 격자센서 어레이와;

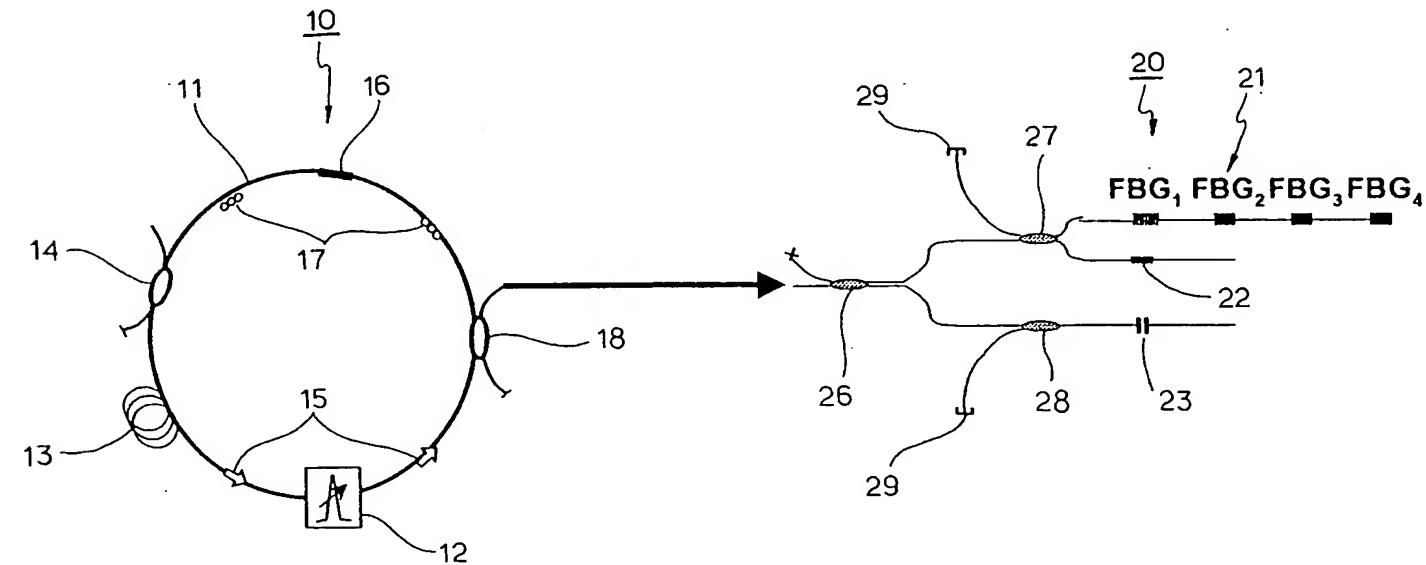
상기 기준 광섬유 브레그 격자센서와 상기 광섬유 브레그 격자센서 어레이로 구성되는 광섬유 브레그 센서군과 커플러에 의해 분기되어 있으며, 일정파장의 광신호를 출력하는 변형율측정좌표신호출력수단과;

상기 광섬유 브레그센서군과 상기 변형율측정좌표신호출력수단의 출력신호를 검출하는 광 검지기:를 구비하는 것을 특징으로 하는 광섬유 구조물 변형감지시스템.

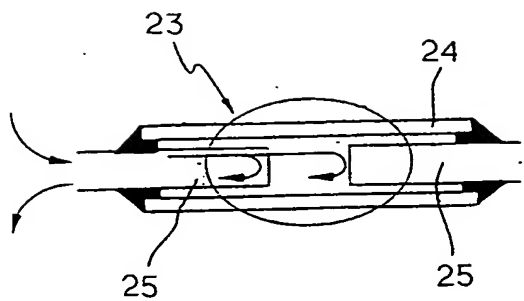
#### 청구항2

제 1 항에 있어서, 상기 변형율측정좌표신호출력수단은, 광의 다중간섭에 의해, 파장영역에서의 공간의 간격이 일정한 광신호를 출력하는 패브리-페론 에탈론인 것을 특징으로 하는 광섬유 구조물 변형감지시스템.

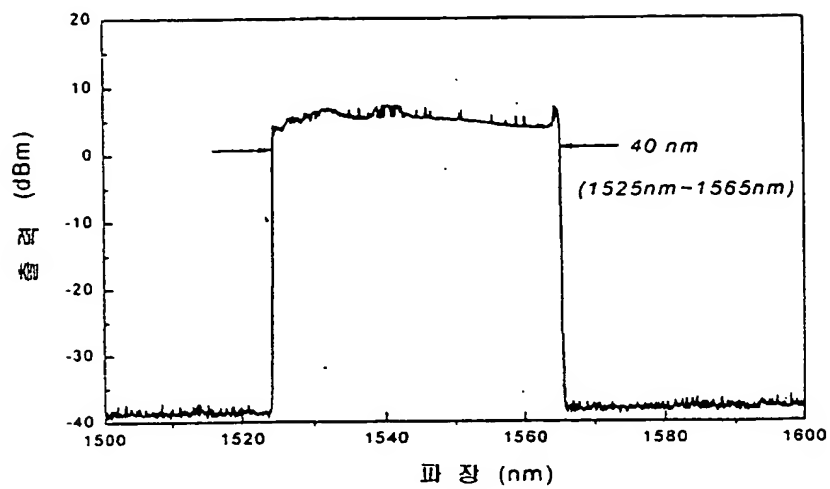
도면  
도면1



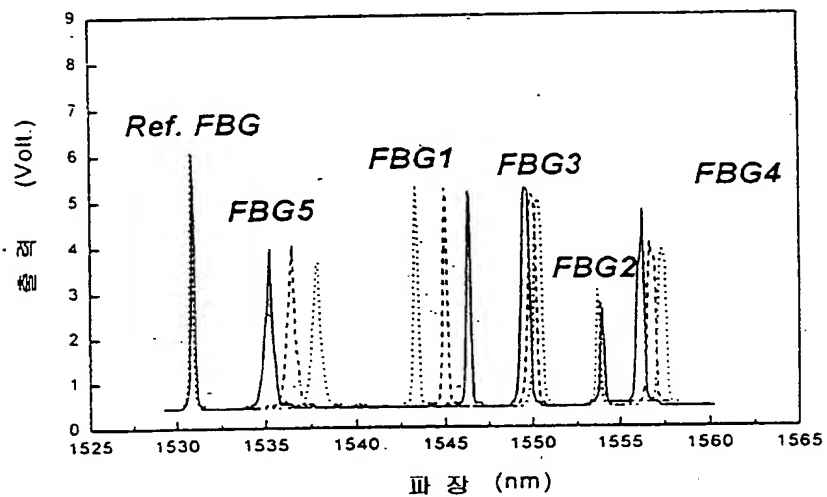
도면2



도면3



도면4



도면5

